**Школа № 635**

Класс 9 «Б»

# Александра Сергеевна Груздева

## Д о к л а д

### Происхождение Солнечной системы

Москва 2004

Вот уже более двух веков проблема происхождения Солнечной системы волнует выдающихся мыслителей нашей планеты. Этой проблемой занималась, начиная от философа Канта и математика Лапласа, плеяда астрономов и физиков XIX и XX столетий. Ей отдал дань наш замечательный соотечественник, человек разносторонне талантливый, Отто Юльевич Шмидт. И все же человечество еще очень далеко от ее решения. Какие только тайны не были вырваны у природы за эти прошедшие два столетия! За последние десятилетия XX века существенно прояснился вопрос о путях эволюции звезд. И хотя детали удивительного процесса рождения звезды из газопылевой туманности еще далеко не ясны, ученые теперь четко представляют, что с ней происходит на протяжении миллиардов лет дальнейшей эволюции. Увы, вопрос о происхождении и эволюции планетной системы, окружающей наше Солнце, далеко не так ясен.

На первый взгляд кажется странным и даже парадоксальным, что астрономы смогли узнать о космических объектах, весьма удаленных и наблюдаемых с большими трудностями, гораздо больше, чем о планетах и Солнце, которые (по астрономическим масштабам, разумеется) находятся у нас «под боком». Однако в этом нет ничего удивительного. Дело в том, что астрономы наблюдают огромное количество звезд, находящихся на разных стадиях эволюции. Изучая звезды в скоплениях, они могут чисто эмпирически установить, как зависит темп эволюции звезд от начальных условий, например массы. Если бы не было этого обширного эмпирического материала, вопрос об эволюции звезд был бы предметом более или менее бесплодных спекуляций, как это и было примерно до 1950 г.

В совершенно другом положении находятся исследователи происхождения и эволюции нашей планетной системы. Ведь мы пока не можем непосредственно наблюдать такие системы даже около самых близких звезд. Если бы это удалось, и мы имели *реальное* представление, как выглядят планетные системы на разных этапах своей эволюции или хотя бы как сильно отличаются одни планетные системы от других, эта волнующая проблема была бы, несомненно, решена в сравнительно короткие сроки. Но пока мы наблюдаем планетную систему, так сказать, в единственном экземпляре. Более того, необходимо еще доказать, что около других звезд имеются планетные системы. Ученые уже пытались это сделать, но не *реально*, а пользуясь наблюдаемыми характеристиками звезд (не планет!). Даже о собственной планетной системе астрономы знают далеко не все. Совсем недавно прозвучала информация, что обнаружена (только-только!) десятая планета нашей Солнечной системы.

Значит ли это, что мы еще решительно ничего не можем сказать о происхождении Солнечной системы, кроме тривиального утверждения, что она как-то образовалась не позже, чем 5 млрд. лет назад, потому что таков приблизительно возраст Солнца? Такая пессимистическая точка зрения так же мало обоснована, как и излишний оптимизм адептов той или иной космогонической гипотезы. Можно сказать, что кое-что о происхождении семьи планет, обращающихся вокруг Солнца, мы уже знаем. Во всяком случае, круг возможных гипотез о происхождении Солнечной системы сейчас значительно сузился.

Переходя к изложению (по необходимости весьма краткому) различных космогонических гипотез, сменявших одна другую на протяжении последних двух столетий, мы начнем с гипотезы, впервые высказанной великим немецким философом Кантом и спустя несколько десятилетий независимо предложенной замечательным французским математиком Лапласом. Из дальнейшего будет видно, что существенные предпосылки этой классической гипотезы выдержали испытание временем, и сейчас в самых модернистских космогонических гипотезах мы легко можем найти основные идеи гипотезы Канта – Лапласа.

Точки зрения Канта и Лапласа в ряде важных вопросов резко отличались. Кант, например, исходил из эволюционного развития холодной пылевой туманности, в ходе которого сперва возникло центральное массивное тело – будущее Солнце, а потом уже планеты, в то время как Лаплас считал первоначальную туманность газовой и очень горячей, находящейся в состоянии быстрого вращения. Сжимаясь под действием силы всемирного тяготения, туманность, вследствие закона сохранения момента количества движения, вращалась все быстрее и быстрее. Из-за больших центробежных сил, возникающих при быстром вращении в экваториальном поясе, от него последовательно отделялись кольца. В дальнейшем эти кольца конденсировались, образуя планеты.

Таким образом, согласно гипотезе Лапласа, планеты образовались раньше Солнца. Однако, несмотря на такое резкое различие между двумя гипотезами, общей их важнейшей особенностью является представление, что Солнечная система возникла в результате закономерного развития туманности. Поэтому и принято называть эту концепцию «гипотезой Канта – Лапласа».

Уже в середине XIX столетия стало ясно, что эта гипотеза сталкивается с фундаментальной трудностью. Дело в том, что наша планетная система, состоящая из девяти (по последним данным из десяти) планет весьма разных размеров и массы, обладает одной замечательной особенностью. Речь идет о необычном распределении момента количества движения Солнечной системы между центральным телом – Солнцем и планетами.

Момент количества движения есть одна из важнейших характеристик всякой изолированной от внешнего мира механической системы. Именно как такую систему мы можем рассматривать Солнце и окружающую его семью планет. Момент количества движения может быть определен как «запас вращения» системы. Это вращение складывается из орбитального движения планет и вращения вокруг своих осей Солнца и планет.

Математически «орбитальный» момент количества движения планеты относительно центра масс системы (весьма близкого к центру Солнца) определяется как произведение массы планеты на ее скорость и на расстояние до центра вращения, т.е. Солнца. В случае вращающегося сферического тела, которое мы будем считать твердым, момент количества движения относительно оси, проходящей через его центр, равен 0,4 *MVR*, где *M* – масса тела, *V* – его экваториальная скорость, *R* – радиус. Хотя суммарная масса всех планет составляет всего лишь 1/700 солнечной, учитывая, с одной стороны, большие расстояния от Солнца до планет и с другой – малую скорость вращения Солнца (скорость вращения Солнца на его экваторе составляет всего лишь 2 км/с, что в 15 раз меньше скорости Земли на орбите), мы получим путем простых вычислений, что 98% всего момента количества движения Солнечной системы связано с орбитальным движением планет и только 2% – с вращением Солнца вокруг оси. Момент количества движения, связанный с вращением планет вокруг своих осей, оказывается пренебрежимо малым из-за сравнительно малых масс планет и их радиусов.

Найдем, например, момент количества движения Юпитера *I*. Масса Юпитера равна *M = 2 x 1030* г (т.е. 10-3 массы Солнца), расстояние от Юпитера до Солнца *R = 7,8 x 1013* см (или 5,2 астрономических единиц), а орбитальная скорость *V = 1,3 x 106* см/с (около 13 км/с). Отсюда *I = MVR = 190 x 1048*. Значения моментов даны в системе единиц CGS. В этих единицах момент количества движения вращающегося Солнца равен всего лишь *6 x 1048*. Таким образом, все планеты земной группы – Меркурий, Венера, Земля и Марс – имеют суммарный момент в 380 раз меньший, чем Юпитер. Львиная доля момента количества движения Солнечной системы сосредоточена в орбитальном движении планет-гигантов Юпитера и Сатурна.

С точки зрения гипотезы Лапласа, это совершенно непонятно. В самом деле, в эпоху, когда от первоначальной, быстро вращающейся туманности отделялось кольцо, слои туманности, из которых впоследствии сконденсировалось Солнце, имели (на единицу массы) примерно такой же момент, как вещество отделившегося кольца, т.к. угловые скорости кольца и оставшихся частей были почти одинаковы. Т.к. масса кольца была значительно меньше массы основной части туманности (протосолнца), то полный момент количества движения у кольца должен быть много меньше, чем у протосолнца. В гипотезе Лапласа отсутствует какой бы то ни было механизм передачи момента от протосолнца к кольцу. Поэтому в течение всей дальнейшей эволюции момент количества движения протосолнца, а затем и Солнца должен быть значительно больше, чем у колец и образовавшихся из них планет. Но этот вывод находится в разительном противоречии с фактическим распределением момента количества движения между Солнцем и планетами.

Для гипотезы Лапласа эта трудность оказалась непреодолимой. На смену ей стали выдвигаться другие гипотезы. Не будем их здесь даже перечислять – сейчас они представляют только исторический интерес. Остановимся лишь на гипотезе Джинса, получившей повсеместное распространение в первой трети прошлого столетия. Эта гипотеза во всех отношениях представляет собой полную противоположность гипотезе Канта – Лапласа. Если последняя рисует образование планетных систем (в том числе и нашей Солнечной) как единый закономерный процесс эволюции от простого к сложному, то в гипотезе Джинса образование таких систем есть дело случая и представляет редчайшее, исключительное явление.

Согласно гипотезе Джинса, исходная материя, из которой в дальнейшем образовались планеты, была выброшена из Солнца (которое к тому времени было уже достаточно «старым» и похожим на нынешнее) при случайном прохождении вблизи него некоторой звезды. Это прохождение было настолько близким, что практически его можно рассматривать как столкновение. При таком очень близком прохождении благодаря приливным силам, действовавшим со стороны налетевшей на Солнце звезды, из поверхностных слоев Солнца была выброшена струя газа. Эта струя останется в сфере притяжения Солнца и после того, как звезда уйдет от Солнца. В дальнейшем струя сконденсируется и даст начало планетам.

Что можно сказать сейчас по поводу этой гипотезы, владевшей умами астрономов в течение трех десятилетий? Прежде всего, она предполагает, что образование планетных систем, подобных нашей Солнечной, есть процесс исключительно маловероятный. В самом деле, столкновения звезд, а также их близкие взаимные прохождения в нашей Галактике могут происходить чрезвычайно редко. Поясним это конкретным расчетом.

Известно, что наше Солнце по отношению к ближайшим звездам движется со скоростью около 20 км/с. Даже самая близкая к нам звезда – Проксима Центавра находится от нас на расстоянии 4,2 светового года. Чтобы преодолеть это расстояние, Солнце, двигаясь с указанной скоростью, должно потратить приблизительно 100 тыс. лет. Будем считать (что в данном случае правильно) движение Солнца прямолинейным. Тогда вероятность близкого прохождения (скажем, на расстоянии трех радиусов звезды) будет, очевидно, равна отношению телесного угла, под которым виден с Земли увеличенный в 3 раза диск звезды, к *4П*. Можно убедиться, что данное отношение составляет около 10-15. Это означает, что за 5 млрд. лет своей жизни Солнце имело один шанс из десятков миллиардов столкнуться или очень сблизиться с какой-либо звездой. Т.к. в Галактике насчитывается всего около 150 млрд. звезд, то полное количество таких близких прохождений во всей нашей звездной системе должно быть порядка 10 за последние 5 млрд. лет.

Отсюда следует, что, если бы гипотеза Джинса была правильной, число планетных систем, образовавшихся в Галактике за 10 млрд. лет ее эволюции, можно было пересчитать буквально по пальцам. Т.к. это, по-видимому, не соответствует действительности и число планетных систем в Галактике достаточно велико, гипотеза Джинса оказывается несостоятельной.

Несостоятельность этой гипотезы следует также и из других соображений. Прежде всего, она страдает тем же фатальным недостатком, что и гипотеза Канта – Лапласа: гипотеза Джинса не в состоянии объяснить, почему подавляющая часть момента количества движения Солнечной системы сосредоточена в орбитальном движении планет. Математические расчеты, выполненные в свое время Н.Н. Парийским, показали, что при всех случаях в рамках гипотезы Джинса образуются планеты с очень маленькими орбитами. Еще раньше на эту классическую космогоническую трудность применительно к гипотезе Джинса указал американец Рессел.

Наконец, ниоткуда не следует, что выброшенная из Солнца струя горячего газа может сконденсироваться в планеты. Наоборот, расчеты ряда известных астрофизиков, в частности Лаймана Спитцера, показали, что вещество струи рассеется в окружающем пространстве и конденсации не будет. Т.о., космогоническая гипотеза Джинса оказалась полностью несостоятельной. Это стало очевидным уже в конце тридцатых годов прошлого столетия.

Тем более удивительным представляется возрождение идеи Джинса на новой основе, которое произошло в последние десятилетия прошедшего века. Если в первоначальном варианте гипотезы Джинса планеты образовались из газового сгустка, выброшенного из Солнца приливными силами при близком прохождении мимо него звезды, то новейший вариант, развиваемый Вулфсоном, предполагает, что газовая струя, из которой образовались планеты, была выброшена из проходившего мимо Солнца космического объекта. В качестве последнего принимается уже не звезда, а протозвезда – рыхлый объект огромных размеров (в 10 раз превышающий радиус нынешней земной орбиты) и сравнительно небольшой массы ~ 0,25 *M* Солнца. Была проработана схема такого «столкновения», основанная на точных расчетах. В этом случае протозвезда должна находиться на гиперболической орбите вокруг Солнца. Все явление близкого прохождения протозвезды занимает около 30 лет. В результате деформируется поверхность протозвезды под влиянием приливных сил и образуются различные орбиты из захваченных Солнцем отдельных кусков протозвездного сгустка. Расчеты показывают, что некоторые орбиты так же удалены от Солнца, как орбита Юпитера и даже дальше – до 30 астрономических единиц. Т.о., новейшая модификация гипотезы Джинса снимает основную трудность, с которой столкнулся ее первоначальный вариант – объяснение аномально большого вращательного момента планет. В схеме Вулфсона это достигается предположением о больших размерах «сталкивающегося» с Солнцем объекта и его сравнительно небольшой массе. Из расчетов также видно, что первоначальные орбиты сгустков были весьма эксцентричны. Т.к. заведомо не весь захваченный Солнцем газ смог конденсироваться в планеты, вокруг движущихся сгустков должна была образоваться некоторая газовая среда, которая тормозила бы их движение. При этом, как известно, первоначально эксцентричные орбиты постепенно будут становиться круговыми. На это потребуется сравнительно мало времени – порядка нескольких миллионов лет. Каждый такой сгусток будет довольно быстро эволюционировать в протопланету. Вращение протопланет может быть обусловлено действием приливных сил, исходящих от Солнца. В рамках этой модели можно также понять происхождение спутников планет. Последние отделяются от протопланет при сжатии из-за их несимметричной фигуры. Следует отметить, что эта гипотеза сравнительно легко объясняет происхождение больших планет и их спутников. Для объяснения планет земной группы необходимо привлечь новые представления.

Гипотеза Джинса в модификации Вулфсона заслуживает внимания. Она, по существу, связывает образование планет с образованием звезд. Последние образуются из межзвездной газопылевой среды группами в так называемых звездных ассоциациях. В таких группах, как показывают наблюдения, сперва образуются сравнительно массивные звезды, а потом всякая «звездная мелочь», которая эволюционирует в карлики. Это хорошо согласуется с гипотезой Джинса – Вулфсона. Расчеты показывают, однако, что если этот механизм был бы единственной причиной образования звездных систем, то их количество в Галактике было бы весьма мало (одна планетная система, примерно, на 100 тыс. звезд), хотя и не так катастрофически мало, как в первоначальной гипотезе Джинса. По существу, это является единственным уязвимым пунктом современной модификации гипотезы Джинса. Если с достоверностью будет доказано, что около хотя бы некоторых ближайших к нам звезд имеются планетные системы, эта гипотеза будет окончательно похоронена.

Выше уже было упомянуто, что выдающийся советский ученый О.Ю. Шмидт в 1944 г. предложил свою теорию происхождения Солнечной системы. Согласно О.Ю. Шмидту наша планетная система образовалась из вещества, захваченного из газопылевой туманности, через которую некогда проходило Солнце, уже тогда имевшее почти современный вид. При этом никаких трудностей с вращательным моментом планет не возникает, т.к. первоначальный момент вещества облака может быть сколь угодно большим. Начиная с 1961 г. эту гипотезу развивал английский космогонист Литтлтон, который внес в нее существенные улучшения. Нетрудно видеть, что блок-схема «аккреционной» гипотезы Шмидта – Литтлтона совпадает с блок-схемой «гипотезы захвата» Джинса – Вулфсона. В обоих случаях почти современное Солнце сталкивается с более или менее рыхлым космическим объектом, захватывая части его вещества. Следует, впрочем, заметить, что для того, чтобы Солнце захватило достаточно много вещества, его скорость по отношению к туманности должна быть очень маленькой, порядка ста метров в секунду. Если учесть, что скорость внутренних движений элементов облака должна быть не меньше, то, по существу, речь идет о «застрявшем» в облаке Солнце, которое, скорее всего, должно иметь общее с облаком происхождение. Тем самым образование планет связывается с процессом звездообразования. Имеются гипотезы, в которых планеты и Солнце образовались из единой «солнечной» туманности. По существу, речь идет о дальнейшем развитии гипотезы Канта – Лапласа.

Литература:

1. И.С. Шкловский «Вселенная, жизнь, разум» Москва «Наука» 1987;
2. Энциклопедия Москва «Мир книги» 2003.